

PENILAIAN INTEGRITI STRUKTUR *ROBI TEST BED (ROAD  
BRIDGE INTERFACE TEST BED)* DI ATAS TANAH LEMBUT.

RASIMAH BINTI MD ZAIN

Tesis ini dikemukakan  
sebagai memenuhi sebahagian daripada syarat penganugerahan  
Ijazah Sarjana Kejuruteraan Awam

Fakulti Kejuruteraan Awam Dan Alam Sekitar  
Universiti Tun Hussein Onn Malaysia

SEPTEMBER 2013

## DEDIKASI

Ikhlas teristimewa buat kedua ayahanda dan bonda tercinta

Md Zain B Jusoh

Jeriah Bt Sulaiman

kasih sayang kalian umpama air di kali

Sekalung budi buat penyelia kajian

Prof Dr Hj Mohd Idrus B Hj Mohd Masirin

anyaman ilmu universiti kehidupan yang tidak ternilai harganya

Adik beradik tersayang

Long, abe ngah, kak dah, diba, mat jue, misim, awan, dan ayie

Persaudaraan yang tidak terbanding dengan harta di dunia

Sahabat dunia akhirat

Farah, uya & idz

penguat semangat saat diri hampir rebah

Teman seperjuangan

Sue, aen, cdomp, ju'a, kak biga & nurul

moga ukhwah ini berkekalan hingga ke syurga

moga rahmat dan keberkatan mengiringi di sepanjang jalan ini

Terima kasih Allah S.W.T.

## PENGHARGAAN

DENGAN NAMA ALLAH YANG MAHA PENGASIH LAGI MAHA PENYAYANG

Alhamdulillah bersyukur ke hadrat Ilahi serta selawat buat junjungan besar Nabi Muhammad S.A.W. Dengan kudratNya, dapat saya menyiapkan Projek Sarjana ini yang bertajuk Penilaian Integriti Struktur RoBI Test Bed (*Road Bridge Interface Interface Test Bed*) di Atas Tanah Lempur dalam tempoh yang ditetapkan.

Setinggi penghargaan dilafazkan buat penyelia saya, Prof. Dr. Hj. Mohd Idrus B. Hj Mohd Masirin yang sentiasa mencurahkan nasihat, bimbingan dan dorongan yang tanpa jemu. Sesungguhnya jasa beliau tidak akan saya lupakan sehingga akhir hayat saya. Rakaman penghargaan buat pihak universiti ini atas peruntukan projek geran FRGS (*Fundamental Research Grant Scheme*) yang diberikan ini. Jutaan terima kasih kepada Pn. Salina Bt. Sani, En. Amir Zaki B. Salikin dan En. Mudzaffar Syah B. Kamarudin selaku staf Pusat Penyelidikan Tanah Lempur Malaysia (RECESS) serta staf Makmal Kejuruteraan Geomatik, En. Saidin B. Ghazali dan Cik Norita Bt. Samsudin. Secebis nukilan buat teman-teman seperjuangan, ketahuilah kalian pengalaman adalah guru paling berharga dalam hidup. Penghargaan tidak terhingga kepada ahli keluarga yang sentiasa menyokong di saat semangat saya hampir rebah dan hilang arah dalam menyudahkan pengajian ini. Terima kasih buat ayahanda, Md Zain B. Jusoh dan bonda Jeriah Bt. Sulaiman. Hanya Dia yang tahu betapa anakmu ini sangat menyayangi diri kalian.

Sekalung penghargaan juga kepada sesiapa yang telah membantu secara langsung atau tidak langsung dalam menjayakan kajian ini. Bukan sedikit jasa dan pertolongan yang telah diberikan dan sudah tentu tidak akan dapat membalas jasa kalian semua. Terima kasih di atas segalanya. Semoga Allah S.A.W akan membalas jasa serta pengorbanan kalian semua.

## ABSTRAK

Masalah mendapan kini kian menjadi isu utama apabila pembinaan dijalankan di atas struktur tanah lembut. Beberapa jenis tanah boleh dikelaskan sebagai tanah lembut iaitu tanah gambut, tanah liat dan tanah organik. Pembinaan di atas tanah jenis ini mengundang kesukaran dan menimbulkan pelbagai masalah kerana tanah lembut adalah kurang stabil dan mengalami pengukuhan primer serta pengukuhan jangka panjang apabila penambahan bebanan yang berterusan. Dalam kajian ini, integriti struktur binaan RoBI (*Road-Bridge Interface*) dikaji untuk menghubungkan parameter seperti mendapan, aras air bawah tanah dan ciri tanah liat lembut. Struktur RoBI telah dibina di Pusat Penyelidikan Tanah Lembut (RECESS) Malaysia di Universiti Tun Hussein Onn Malaysia (UTHM) bagi menjalankan ujian berkaitan jambatan dan jalanraya pada masa hadapan. Ujian geoteknikal terhadap tanah dilakukan pada tempoh awal pemantauan. Manakala ujian integriti tanpa musnah ke atas RoBI dijalankan selama tiga belas (13) bulan yang melibatkan pemantauan mendapan struktur RoBI, pemantauan aras, aras air permukaan, taburan hujan dan suhu persekitaran. Jenis pengukuhan tanah pada sekitar struktur RoBI ini dikategorikan sebagai pengukuhan primer (pekali pengukuhan,  $C_v=0.08 \text{ m}^2/\text{tahun}$ ) dan masih berlaku pengukuhan tetapi dalam kadar yang sangat perlahan. Hasil kajian juga telah menunjukkan bahawa tahap (*rating*) penilaian struktur RoBI ini ialah 7 berdasarkan piawaian *National Bridge Inspections Standards (NBIS)* dan 2 berdasarkan piawaian Jabatan Kerja Raya (JKR) Malaysia. Secara kesimpulannya, struktur *RoBI Test Bed* ini sudah mencapai tahap integriti yang baik dan sedia digunakan bagi sebarang ujian berkaitan jambatan dan jalanraya. Melalui kajian ini, struktur RoBI ini dapat dijadikan sebagai tapak ujian yang paling ideal untuk sebarang pengujian yang berkaitan jambatan dan jalanraya bagi penyiasatan fenomena mendapan di atas tanah lembut pada masa akan datang.

Katakunci: mendapan, tanah lembut, RoBI, aras air permukaan

## ABSTRACT

Construction of structures made on soft soil has become a current major issue. Some of the soil that is classified as soft soils are peat, clay and organic soils. Construction made on these soils often are troublesome and causes many problems due to its instability and its primary and long term consolidation when subjected to a continues increase in load. In this research, integrity of RoBI (Road-Bridge Interface) structure is studied to correlate parameters such as load, settlement, ground water level and soft soil characteristics. The structure has been built at Research Centre for Soft Soil (RECESS) Malaysia, Universiti Tun Hussein Onn Malaysia (UTHM) in terms of ongoing test involving bridges and roads in future. Geotechnical tests was conducted at initial test period. Integrity test without damaging the RoBI has been done for thirteen (13) months including the load structure of RoBI, levelling observation, ground water level, rainfall intensity and environment temperature. Consolidation soil at this RoBI structure categorized as primer consolidation (coefficient of consolidation,  $C_v=0.08 \text{ m}^2/\text{year}$ ) as the consolidation appear in slow condition. Findings show that RoBI evaluation structure rating is in GOOD condition as at 7 according to National Bridge Inspections Standards (NBIS) and 2 according to Public Work Deparment (JKR) Malaysia. In conclusion, this *RoBI Test Bed* structure has reached it integrity level needed and ready to be used in any related test involving bridges and roads. Hopefully from this research, this RoBI structure will become the ideal test bed for investigation of settlement phenomenon on soft soil involving bridge and road in the future.

Keywords: settlement, soft soil, RoBI, water level.

## KANDUNGAN

### PERKARA

### MUKA SURAT

HALAMAN PENGAKUAN.....	iii
HALAMAN DEDIKASI.....	iv
PENGHARGAAN .....	v
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT.....	vii
KANDUNGAN.....	viii
SENARAI JADUAL.....	xi
SENARAI RAJAH .....	xi
SENARAI SIMBOL .....	xiv
SENARAI PERSAMAAN.....	xvi
SENARAI LAMPIRAN .....	xvii
BAB I.....	1
Pengenalan.....	1
1.1 Pendahuluan.....	1
1.2 Latar Belakang Kajian .....	3
1.3 Penyataan Masalah.....	3
1.4 Matlamat dan Objektif Kajian .....	5
1.5 Skop Kajian.....	5
1.6 Kawasan Kajian .....	6
1.7 Hipotesis Kajian.....	7
1.8 Definisi Istilah.....	8
1.9 Organisasi Tesis .....	8
1.10 Ringkasan Bab .....	10
BAB II.....	11
KAJIAN LITERATUR.....	11
2.1 Pendahuluan.....	11
2.2 Jenis-Jenis Struktur Binaan.....	12
2.3 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Integriti Struktur Binaan .....	13
2.4 Tanah Lempot Sebagai Faktor Yang Mempengaruhi Integriti Struktur. ....	15
2.4.1 Sifat Asas Tanah Liat Lempot .....	17
2.4.2 Sifat-sifat Tanah Lempot Di bawah Struktur Binaan .....	20
2.4.3 Faktor-Faktor Mempengaruhi Mendapan Tanah Lempot.....	26
2.4.4 Interaksi Tanah Terhadap Struktur ( <i>soil-structure interaction</i> ).....	27
2.4.5 Proses Pengukuhan Tanah Lempot.....	30
2.4.6 Kelakuan Tanah Lempot Pada Fasa Semasa Pembinaan dan Selepas Pembinaan.....	34
2.5 Kaedah – Kaedah Penstabilan Tanah Lempot .....	35
2.5.1 Kaedah Penstabilan Tanah Secara Fizikal dan Mekanikal .....	36
2.5.2 Kaedah Penstabilan Tanah Secara Kimia .....	38
2.6 Pemeriksaan Struktur Binaan.....	39

2.6.1 Kaedah- Kaedah Pemeriksaan Struktur Binaan .....	40
2.7 Penilaian Tahap ( <i>rating</i> ) Integriti Struktur Binaan .....	42
2.8 Jenis-Jenis Ujian Penentuan Integriti Struktur Binaan .....	44
2.8.1 Ujian Tanpa Musnah Struktur Binaan .....	45
2.8.2 Ujian Musnah Struktur Binaan .....	49
2.8.3 Ujian Beban ( <i>Load Test</i> ) Terhadap Struktur Binaan .....	50
2.8.4 Instrumen Pemantauan Integriti Ke atas Struktur RoBI .....	51
2.9 Kajian Kes Pemantauan Struktur Binaan .....	55
2.9.1 Kajian Kes 1: Kelakuan struktur binaan pembentung segiempat di KM24 Jalan Batu Pahat-Kluang, Parit Hj.Ali, Parit Raja, Batu Pahat. Johor (Looi, 2009). .....	56
2.9.3 Kajian Kes 2: Kelakuan struktur binaan pembentung bulat di Jalan Ling Chu Ming Off Jalan Ting Sing, Sib. Sarawak (Masirin et al., 2009). .....	62
2.9.5 Kesimpulan dan cadangan .....	65
2.10 Ringkasan Bab .....	66
BAB III .....	67
METODOLOGI KAJIAN DAN INSTRUMENTASI .....	67
3.1 Pendahuluan .....	67
3.2 Gerak Kerja Kajian Penyelidikan .....	67
3.2.1 Carta Alir Gerak Kerja Utama Kajian .....	68
3.2.2 Jadual Kemajuan Aktiviti Kajian .....	69
3.2.1 Pemilihan Lokasi Tapak Ujian .....	71
3.2.2 Penyiasatan Tapak Struktur <i>RoBI Test Bed</i> . .....	72
3.3 Ujikaji Tanah Di Makmal .....	75
3.3.1 Ujian Klasifikasi Tanah .....	76
3.3.2 Ujian Kekuatan Tanah .....	82
3.3.2.1 Ujian Pengukuhan Tanah .....	82
3.4 Parameter Pemantauan Integriti Struktur RoBI Test Bed .....	83
3.5 Ujian Integriti Struktur Di Tapak .....	84
3.5.1 Pemeriksaan Visual Struktur <i>RoBI Test Bed</i> .....	86
3.5.2 Ujian Pembebanan Struktur <i>RoBI Test Bed</i> .....	86
3.5.3 Ujian Menggunakan Tukul Lantul @ <i>Schmidt Hammer</i> .....	89
3.5.4 Ujian Menggunakan Alat Ground Penetrating Radar (GPR). .....	91
3.6 Instrumen Pemantauan Di Tapak .....	93
3.6.1 Alat Total Station .....	93
3.6.2 Tolok Hujan .....	96
3.6.3 Tolok Setaf .....	97
3.7 Analisis Ke atas Keputusan Kajian Penyiasatan Tapak, Ujian Integriti dan Parameter Pemantauan Di Tapak .....	97
3.8 Ringkasan Bab .....	98
BAB IV .....	99
DATA & ANALISIS .....	99
4.1 Pendahuluan .....	99
4.2 Keputusan Penyiasatan Di Tapak .....	99
4.2.1 Penilaian Fizikal Lapisan Tanah .....	99
4.3 Keputusan Klasifikasi Fizikal Tanah Liat Lembut Batu Pahat (BPSC) .....	101
4.3.1 Analisis Taburan Saiz Zarah Tanah (Ujian Hidrometer). .....	101

4.3.2 Ujian Had Atterberg (Ujian Had Cecair ( $W_L$ ), Ujian Had Plastik ( $W_P$ ), Indeks Keplastikan ( $I_p$ )).	102
4.3.3 Kandungan Lembapan Tanah	103
4.3.4 Graviti Tantu Tanah	104
4.3.4 Keputusan Ujian Pengukuhan Tanah	104
4.4 Keputusan Ujian Integriti Struktur RoBI di Tapak	106
4.4.1 Penilaian Visual <i>RoBI Test Bed</i>	106
4.4.2 Penilaian Sub-permukaan Struktur RoBI	109
4.4.3 Penilaian Kekerasan Permukaan Konkrit Struktur RoBI	112
4.4.4 Penilaian Kesan Faktor Persekitaran (Taburan Hujan Bulanan, Aras Air Permukaan dan Suhu Persekitaran) Terhadap Integriti Struktur RoBI	114
4.4.5 Penilaian Relatif Aras dan Kontur Anjakan Struktur	117
4.4.6 Penilaian Mendapan Struktur <i>RoBI Test Bed</i>	128
4.5 Perbincangan dan Ulasan	141
4.5.1 Penilaian Klasifikasi Tanah	141
4.5.2 Penilaian Integriti Struktur RoBI Di tapak	141
4.6 Pengkelasan Tahap ( <i>Rating</i> ) Integriti Struktur <i>RoBI Test Bed</i>	145
4.6.1 Penentuan Indeks Integriti Struktur	146
4.7 Ringkasan Bab	149
BAB V	150
KESIMPULAN DAN CADANGAN	150
5.1 Pengenalan	150
5.2 Kesimpulan	150
5.3 Cadangan	155
5.4 Ringkasan Bab	157
RUJUKAN	158
VITA	165





## SENARAI JADUAL

NO. JADUAL	TAJUK	MUKA SURAT
Jadual 2.1:	Faktor-faktor yang mempengaruhi INTEGRITI struktur binaan.	14
Jadual 2.2:	Klasifikasi tanah liat lembut	18
Jadual 2.3 (a) :	Kadar enapan tanah liat lembut di beberapa lokasi luar negara	23
Jadual 2.4:	Ringkasan ketebalan mendapan tanah liat bagi Semenanjung Malaysia	25
Jadual 2.5:	Faktor-faktor mempengaruhi mendapan tanah	26
Jadual 2.6:	Prinsip-prinsip dalam pengukuhan tanah	32
Jadual 2.7: :	Jenis-jenis mendapan pengukuhan oleh tanah	31
Jadual 2.8:	Nilai perbandingan parameter pengukuhan tanah lembut bagi di beberapa lokasi yang dicatatkan oleh penyelidik terdahulu.	33
Jadual 2.9:	Kaedah penstabilan pada tanah lembut	37
Jadual 2.10:	Penilaian tahap ( <i>rating</i> ) keadaan gangguan bagi struktur binaan	43
Jadual 2.11:	Penilaian tahap ( <i>rating</i> ) kerosakan pada struktur jambatan dan lain-lain binaan struktur awam ( <i>Annual Bridge Inspection Manual-JKR, 2005</i> ).	44
Jadual 2.12:	Ketebalan lapisan dan CBR yang diperolehi daripada DCP	59
Jadual 2.13:	Ringkasan maklumat berkaitan dua (2) lokasi jambatan yang dikaji.	66
Jadual 3.1:	Pengkelasan kekuatan jenis tanah	74
Jadual 3.2:	Log lubang jara ( <i>borehole</i> ) di RECESS UTHM	75
Jadual 3.3:	Pengkelasan saiz tanah (BS 1377: Bahagian 2: 1990).	77
Jadual 3.4:	Sifat-sifat tanah pada had kekonsistenan (BS 1377: Bahagian 2: 1990).	78
Jadual 3.5:	Julat tipikal had cecair, indeks plastik dan aktiviti untuk beberapa jenis mineral tanah liat	80
Jadual 3.6:	Keadaan tanah liat berdasarkan julat aktiviti	80
Jadual 3.7:	Jenis ujian dan alat/instrumen yang digunakan bagi ujian integriti struktur <i>RoBI Test Bed</i> .	85
Jadual 4.1:	Keputusan klasifikasi fizikal Tanah Liat Lembut Batu Pahat (BPSC).	105
Jadual 4.2:	Keputusan pemeriksaan visual ke atas struktur <i>RoBI Test Bed</i> .	107
Jadual 4.3:	Ringkasan nilai ketinggian aras bagi setiap garis titik struktur <i>RoBI Test Bed</i>	126
Jadual 4.4:	Nilai ketinggian permukaan ‘bonggol’ pada struktur RoBI.	127
Jadual 4.5:	Ringkasan mendapan setiap bulan pada komponen struktur <i>RoBI Test Bed</i> .	132
Jadual 4.6:	Pekali pengukuhan pada setiap bahagian struktur <i>RoBI Test Bed</i> .	133
Jadual 4.7:	Parameter bagi penentuan indeks integriti struktur RoBI.	146

## SENARAI RAJAH

NO. RAJAH	TAJUK	MUKA SURAT
Rajah 1.1:	Taburan tanah liat marin dan sungai di semenanjung Malaysia (Lembaga Lebuhraya Malaysia, 1989).	2
Rajah 1.2:	Contoh kegagalan yang berlaku struktur binaan (a) Rumah kediaman, (b) Jalanraya dan (c) Jambatan.	4
Rajah 1.3:	Lokasi tapak RECESS Malaysia di UTHM.	7
Rajah 2.1:	Fenomena kegagalan pada struktur binaan a) Bangunan, (b) Jalanraya dan (c) Jambatan.	15
Rajah 2.2:	Profil mendapan tanah lembut bagi Semenanjung Malaysia	16
Rajah 2.3:	Persamaan antara pergerakan lateral dengan endapan	20
Rajah 2.4:	Beban Penambakan dan mendapan melawan masa	21
Rajah 2.5:	Jenis pengukuhan tanah liat lembut.	22
Rajah 2.6:	Interaksi antara tanah dan struktur binaan rumah	27
Rajah 2.7:	Keadaan kegagalan pada Menara Condong Pisa	28
Rajah 2.8:	Kesan interaksi tanah terhadap struktur jambatan	29
Rajah 2.9:	Analogi pengukuhan tanah	30
Rajah 2.10:	Graf mendapan tanah terhadap masa (log) bagi ujian Oedometer	34
Rajah 2.11:	Instrumen bagi ujian halaju denyutan ultrasonik.	46
Rajah 2.12:	Alat penusukan radar (GPR) bagi ujian penilaian sub-permukaan struktur	47
Rajah 2.13:	Mekanisma Radiografi sinar –X	48
Rajah 2.14:	Instrumen bagi (a) Ujian Schmidt @ Tukul Lantul dan (b) Ujian Pundit.	49
Rajah 2.15:	Mesin penggerudi bagi ujian teras.	50
Rajah 2.16:	Alat <i>Total Station</i>	53
Rajah 2.17:	Tolok hujan automatik.	54
Rajah 2.18:	Tolok setaf mengukur aras air permukaan.	55
Rajah 2.19:	Kawasan kajian di KM24 Jalan Batu Pahat-Kluang, Batu Pahat, Johor	56
Rajah 2.20:	Kesan kerosakan pada sambungan struktur jambatan	57
Rajah 2.21:	(a) Anjakan ( <i>displacement</i> ) pada sambungan struktur pembentung dan (b) Retakan pada penghujung <i>wingwall</i> .	58
Rajah 2.22:	Hakisan tanah kawasan di sekitar struktur binaan jambatan jenis pembentung (Looi, 2009).	58
Rajah 2.23:	Keadaan 'bonggol' pada sambungan jalanraya-jambatan	59
Rajah 2.24:	Nilai aras permukaan bagi setiap garis titik keratan memanjang jalanraya	60
Rajah 2.25:	Imej sub-permukaan yang dikesan oleh alat Penusukan Radar, GPR	61
Rajah 2.26:	Ilustrasi keadaan pembentung segiempat pada awal pembinaan dan selepas 5 tahun pembinaan	61
Rajah 2.27:	Jambatan jenis pembentung bulat di Jalan Ling Chu Ming Off Jalan Ting Sing, Sibu.Sarawak.	62
Rajah 2.28:	Kerja-kerja pemerhatian awal di tapak berkaitan	63

Rajah 2.29: Kerosakan pada kawasan peralihan <i>pembentung</i> jambatan di Jalan Ling Chu Ming Off Jalan Ting Sing .....	63
Rajah 2.30: Ketinggian ‘bonggol’ (mm) yang diukur pada garis titik yang dikenalpasti. ....	64
Rajah 3.1: Gerak kerja utama kajian penyelidikan.....	68
Rajah 3.2: Jadual kemajuan aktiviti kajian .....	70
Rajah 3.3: Lokasi kawasan pembinaan struktur RoBI.....	71
Rajah 3.4: Lokasi penyiasatan Lubang Ujian di tapak RECESS UTHM. ....	73
Rajah 3.5: Kerja-kerja pengorekan lubang ujian bagi penyiasatan awal di tapak. ....	73
Rajah 3.6: Had-had Atterberg .....	78
Rajah 3.7: Instrumen ujian pengukuhan tanah.....	83
Rajah 3.8: Keadaan fizikal struktur RoBI selepas siap dibina.....	86
Rajah 3.9: Ujian pembebanan statik ke atas struktur RoBI. ....	87
Rajah 3.10: Ilustrasi mekanisme proses pembebanan.....	88
Rajah 3.11: Mekanisme penggunaan Tukul Lantul ( <i>Rebound Hammer</i> ). ....	90
Rajah 3.12: Ujian Tukul Lantul sedang dijalankan bahagian dinding struktur RoBI.....	90
Rajah 3.13: Mekanisma alat <i>Ground Penetrating Radar</i> (GPR).....	91
Rajah 3.14: Lakaran arah laluan ujian alat GPR ke atas struktur <i>RoBI Test Bed</i> . ....	92
Rajah 3.15: Lokasi alat EDM dari batu aras sementara (TBM) di RECESS, UTHM.....	94
Rajah 3.16: Alat EDM jenis “ <i>Reflectorless Total Station</i> ” .....	94
Rajah 3.17: Susun atur bagi titik cerapan pada struktur RoBI.....	95
Rajah 3.18: Kerja-kerja menanda titik cerapan struktur <i>RoBI Test Bed</i> bagi cerapan data perbezaan aras. ....	95
Rajah 3.19: Tolok hujan bagi menyukat taburan hujan di tapak struktur RoBI. ....	97
Rajah 4.1: Keratan rentas profil tanah yang diperolehi di tapak RoBI.....	101
Rajah 4.2: Taburan saiz partikel tanah liat melalui ujian hidrometer.....	102
Rajah 4.3: Carta keplastikan bagi sistem USCS ( <i>Unified Soil Classification System</i> )... ..	103
Rajah 4.4 : Pengukuhan pada tanah liat RECESS berhampiran struktur RoBI. ....	105
Rajah 4.6: Ilustrasi kerosakan pada struktur RoBI .....	108
Rajah 4.5: Retakan kecil dan aliran kecil air bumi pada dinding dan tapak struktur RoBI. ....	108
Rajah 4.7: Profil subpermukaan pada Dinding A <i>RoBI Test Bed</i> . ....	109
Rajah 4.8: Profil subpermukaan pada Dinding B <i>RoBI Test Bed</i> . ....	110
Rajah 4.9: Profil subpermukaan pada Dinding C <i>RoBI Test Bed</i> . ....	111
Rajah 4.10: Profil subpermukaan pada Papak Lantai <i>RoBI Test Bed</i> . ....	112
Rajah 4.11: Nilai kekuatan konkrit pada <i>RoBI Test Bed</i> berdasarkan nilai nombor lantul (N) yang diperolehi. ....	113
Rajah 4.12: Nilai nombor lantul (N) pada lokasi yang dikenalpasti pada struktur <i>RoBI Test Bed</i> .....	113
Rajah 4.13: Graf masa (bulan) melawan aras air permukaan dan suhu bagi Mei 2011 sehingga Mei 2012. ....	115
Rajah 4.14: Hubungkait taburan hujan terhadap aras air permukaan .....	116
Rajah 4.15 : Hubungkait taburan hujan terhadap suhu persekitaran .....	117
Rajah 4.16: Graf nilai ketinggian aras pada garis titik pada Papak Lantai <i>RoBI Test Bed</i> . ....	118

Rajah 4.17: Perbezaan Kontur Anjakan Struktur bagi Papak Lantai pada Mei 2011 (Awal Ujian) dibandingkan pada Mei 2012 (Akhir Ujian).....	119
Rajah 4.18 : Graf nilai ketinggian aras garis titik pada Dinding A struktur RoBI. ....	120
Rajah 4.19: Kontur Anjakan Struktur bagi Dinding A bagi bulan Mei 2011 (Awal Ujian) dibandingkan pada Mei 2012 (Akhir Ujian). ....	121
Rajah 4.20: Graf nilai ketinggian aras garis titik pada Dinding B struktur RoBI.....	122
Rajah 4.21: Perbezaan Kontur Anjakan Struktur Dinding B pada bulan Mei 2011 (Awal Ujian) dibandingkan pada Mei 2012 (Akhir Ujian).....	123
Rajah 4.22: Graf nilai ketinggian aras garis titik pada Dinding C struktur .....	124
Rajah 4.23: Perbezaan Kontur Anjakan Struktur bagi Dinding C pada Mei 2011 (Awal Ujian) dibandingkan bulan Mei 2012 (Akhir Ujian). ....	125
Rajah 4.24: Kadar mendapan ( mm) pada bahagian papak lantai <i>RoBI Test Bed</i> .....	129
Rajah 4.25: Kadar mendapan ( mm) pada bahagian Dinding A <i>RoBI Test Bed</i> . ....	130
Rajah 4.26: Kadar mendapan ( mm) pada bahagian Dinding B <i>RoBI Test Bed</i> . ....	130
Rajah 4.27: Nilai mendapan (mm) pada bahagian Dinding C <i>RoBI Test Bed</i> . ....	131
Rajah 4.28: Hubungkait masa terhadap kadar pengukuhan pada Papak Lantai RoBI... ..	135
Rajah 4.29: Hubungkait masa terhadap pengukuhan pada struktur Papak Lantai RoBI. ....	136
Rajah 4.30 : Hubungkait masa terhadap pengukuhan pada struktur Dinding A RoBI. ..	137
Rajah 4.31: Hubungkait masa terhadap pengukuhan pada struktur Dinding B RoBI. ...	138
Rajah 4.32: Hubungkait masa terhadap pengukuhan pada struktur Dinding C RoBI. ...	139
Rajah 4.33: Contoh skala pengiraan indeks integriti struktur RoBI .....	148



**SENARAI SIMBOL**

$C$  = Kejelekitan

$C_c$  = Pekali keseragaman

$C_v$  = Pekali pengukuhan

$E_u$  = Pekali modulus

$G_s$  = Graviti tentu

$p_i$  = Mendapan serta-merta

$p_c$  = Mendapan pengukuhan primer

$p_s$  = Mendapan pengukuhan sekunder

*RoBI* = *Road-Bridge Interface*

*RECESS* = *Research Centre For Soft Soil*

$S$  = Jumlah enapan pengukuhan

$S_i$  = enapan serta-merta

$S_c$  = enapan pengukuhan sekunder

$V_u$  = Nisbah poisson

$w_L$  = Had Cecair

$w_p$  = Had Plastik

$\gamma_s$  = Ketumpatan Tanah

$\gamma_w$  = Ketumpatan

**SENARAI PERSAMAAN**

NO.	PERSAMAAN	MUKA SURAT
1	2.1	31
2	2.2	31
3	2.3	31
4	2.4	32
5	2.5	32
6	3.1	79
7	3.2	81
8	3.3	82
9	3.4	97



PTTAUTHM  
PERPUSTAKAAN TUNKU TUN AMINAH

**SENARAI LAMPIRAN****LAMPIRAN****TAJUK**

- |   |                                    |
|---|------------------------------------|
| A | CONTOH KEPUTUSAN UJIAN DI MAKMAL   |
| B | CONTOH KEPUTUSAN UJIAN DI TAPAK    |
| C | METODOLOGI KAJIAN                  |
| D | PENERBITAN ( <i>PUBLICATIONS</i> ) |



PTTA UTHM  
PERPUSTAKAAN TUNKU TUN AMINAH

## BAB I

### PENGENALAN

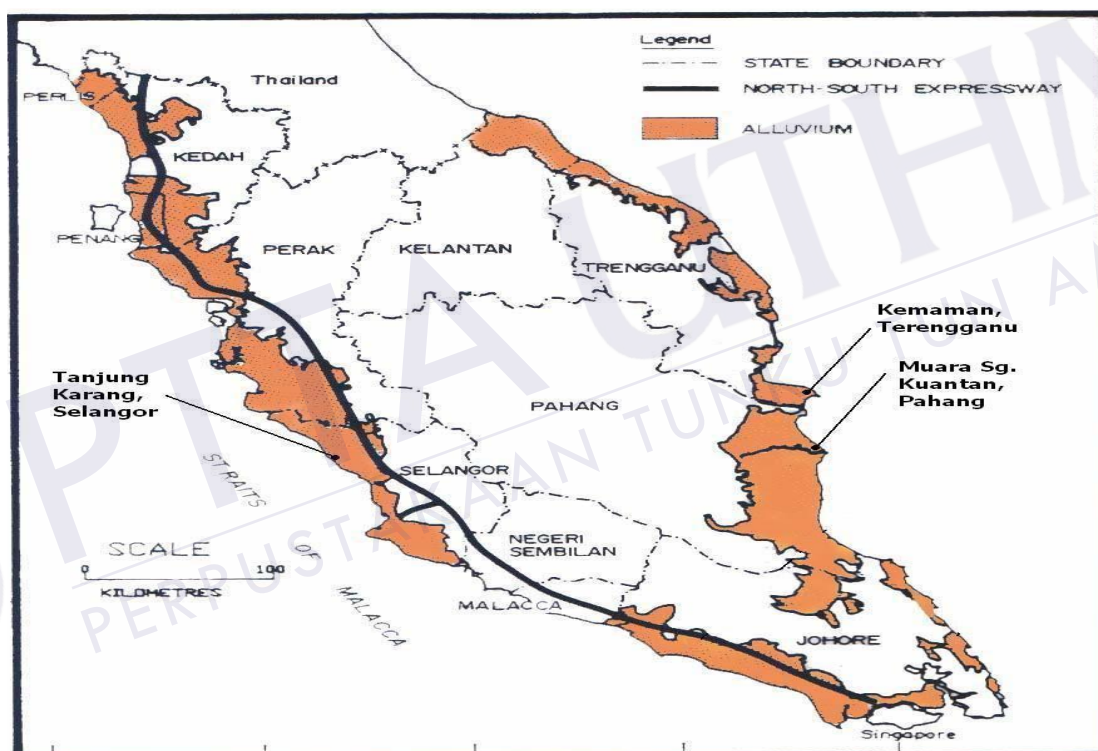
#### 1.1 Pendahuluan

Struktur binaan seperti bangunan, jalanraya, jambatan, empangan, tembok penahan dan sebagainya dibina bagi memberi kemudahan kepada manusia. Namun jika struktur-struktur ini mengalami masalah kerosakan seperti runtuh, retakan, struktur mendap dan sebagainya maka tahap integriti struktur akan terganggu. Keadaan ini akan mengundang pelbagai masalah seperti ketidakselesaian perjalanan, tahap keselamatan yang tidak terjamin, kos penyelenggaraan meningkat dan sebagainya. Justeru, penilaian tahap integriti struktur merupakan elemen penting bagi menentukan sesuatu struktur itu kekal berada dalam keadaan paling selamat, kukuh dan stabil. Kaedah ini juga bertujuan bagi membuat penilaian terhadap sistem sesuatu struktur itu terutamanya yang memerlukan pemerhatian dan pertimbangan kejuruteraan (Case, 2003).

Batu Pahat adalah salah satu daerah *wetland* yang menghadapi masalah tanah mendap. Keadaan ini menyebabkan kerosakan jangka panjang terhadap struktur binaan seperti bangunan, sistem jalanraya, bangunan dan sebagainya. Tanah di sekitar daerah ini dilitupi tanah liat lembut yang tidak stabil yang menyebabkan berlaku masalah tanah mendap. Masalah ini turut menyebabkan mendapan terhadap struktur binaan yang dibina



di atas permukaan tanah lembut. Menurut Cernica (1995), keadaan ini berlaku disebabkan oleh beberapa faktor seperti tekanan beban struktur pada tanah, perubahan kandungan lembapan tanah, air larian bawah tanah dan pembangunan di kawasan lombong. Dengan perkembangan sains dan teknologi, terdapat pelbagai kaedah alternatif dalam mengurangkan kesan mendapan tanah seperti pra-bebanan, penyaliran, *vibroflotation* dan rawatan menggunakan bahan kimia seperti kapur, elektro-osmosis dan beberapa kaedah lain (Bujang et al., 2007). Rajah 1.1 menunjukkan taburan tanah liat di Semenanjung Malaysia yang direkodkan oleh Lembaga Lebuhraya Malaysia pada tahun 1989.



Rajah 1.1: Taburan tanah liat marin dan sungai di semenanjung Malaysia (Lembaga Lebuhraya Malaysia, 1989).

Justeru dalam kajian ini, pemantauan ke atas struktur *RoBI Test Bed* (*Road-Bridge Interface*) dijalankan bagi mengenalpasti tahap integriti dan kelakuan pada struktur ini atas tanah liat lembut Batu Pahat (*Batu Pahat Soft Clay, BPSC*). Struktur ini telah dibina di tapak Penyelidikan Tanah Lembut Malaysia (RECESS) di Universiti Tun Hussein Onn Malaysia, UTHM. Istilah RoBI merupakan akronim bagi gabungan perkataan 'Road

*Bridge Interface*'. Struktur RoBI ini merupakan binaan asas bagi ujian berkaitan jambatan. Ia berbentuk segiempat tepat bersaiz 4.7m x 3.5m x 4.5m. Ia dipilih sebagai bahan ujikaji kerana ia dibina di persekitaran tapak ujian kawalan bagi tanah lembut di UTHM. Justeru, bentuk interaksi antara tanah lembut terhadap struktur ini dapat dikaji dengan teliti. Maka penilaian ini dijalankan bagi mengenalpasti tahap integriti struktur ini kerana kelak ia akan dijadikan sebagai tapak kajian lanjutan ke atas sebarang inovasi dan rekabentuk jambatan baru.

## 1.2 Latar Belakang Kajian

Kajian ini dijalankan di tapak RECESS UTHM. Struktur *RoBI Test Bed* ini telah dibina oleh kumpulan penyelidik terdahulu. Pemantauan berterusan terhadap integriti struktur ini sangat penting bagi memastikan ia berada dalam keadaan selamat dan berfungsi dengan baik. Ujian integriti ke atas struktur RoBI ini penting bagi memastikan ia tidak mengalami sebarang kegagalan sebelum pengujian sebenar terhadap struktur dilakukan. Tahap integriti dan kelakuan yang ditunjukkan oleh struktur ini diukur berdasarkan beberapa aspek iaitu integriti struktur, kelakuan terhadap tanah dan keadaan persekitaran. Pemantauan berterusan dilakukan secara berkala selama 13 bulan bagi mengetahui tahap integriti yang terbaik sebelum struktur *RoBI Test Bed* dapat digunakan sepenuhnya bagi tujuan penyelidikan lanjutan ke atas rekabentuk jambatan baru di atas tanah lembut.

## 1.3 Penyataan Masalah

Masalah tanah mendap merupakan cabaran hebat kepada para jurutera dalam bidang kejuruteraan awam samada dalam pembinaan struktur bangunan, sistem rangkaian jalanraya, jambatan dan sebagainya. Tanah mendap sering dikaitkan dengan faktor tanah lembut. Tanah lembut mempunyai ciri seperti kekuatan yang rendah dan kebolehmampatan yang tinggi, kekuatan ricih yang rendah ( $<25\text{kPa}$ ) dan tanahnya mudah

terganggu (Bujang et al., 2007). Antara faktor-faktor berlaku mendapan adalah disebabkan oleh pengukuhan dan mampatan tanah di bawah struktur binaan, bebanan dinamik yang tinggi, perubahan aras air permukaan dan pengorekan di kawasan berhampiran dengan struktur binaan (Cernica, 1995). Keadaan ini menyebabkan tahap integriti sesuatu struktur binaan terganggu. Sekiranya sebarang struktur dibina di atas tanah lembut, aspek integriti pada struktur amat penting bagi memastikan struktur tersebut berada dalam keadaan yang paling baik dari segi keselamatan, kebolehhidmatan dan keutuhan struktur. Berikut merupakan contoh struktur binaan rumah kediaman, jalanraya dan jambatan yang mengalami kegagalan kesan integriti strukturnya yang terganggu seperti yang ditunjukkan pada Rajah 1.2.



Rajah 1.2: Contoh kegagalan yang berlaku struktur binaan (a) Rumah kediaman, (b) Jalanraya dan (c) Jambatan.

Berdasarkan pemerhatian di lokasi bermasalah ini, didapati antara faktor yang mengganggu integriti struktur-struktur ini ialah pembinaan di kawasan tanah lembut (tanah liat, tanah gambut), beban kenderaan yang berlebihan dan kaedah penambahbaikan tanah yang kurang sesuai. Selain itu faktor-faktor seperti proses pengukuhan tanah asas, proses pemadatan tanah tambak yang lemah, sistem pengairan yang tidak sesuai, perubahan

cuaca dan suhu serta lain-lain menyumbang kepada keadaan kegagalan ini (White et al., 2007). Justeru penilaian terhadap tahap integriti pada struktur *RoBI Test Bed* ini amat penting bagi memastikan ia berada dalam keadaan yang paling baik sebelum sebarang ujian berkaitan dengan jambatan dijalankan pada masa hadapan.

#### 1.4 Matlamat dan Objektif Kajian

Dalam kajian ini, matlamat dan objektif yang jelas telah dikenalpasti bagi menjalankan kerja penyelidikan yang tepat. Matlamat kajian ini adalah bagi menentukan integriti struktur *RoBI Test Bed* sebelum sebarang ujian struktur jambatan dilakukan di atas struktur ini. Pembinaan struktur RoBI ini ialah di Pusat Penyelidikan Tanah Lempot (RECESS) di Universiti Tun Hussein Onn Malaysia (UTHM). Beberapa objektif penting telah dikenalpasti dalam mencapai matlamat kajian ini iaitu:

- i) Mengenalpasti integriti struktur *RoBI Test Bed* yang dibina di atas tanah liat lembut di RECESS UTHM.
- ii) Menentukan kadar mendapan yang berlaku ke atas struktur *RoBI Test Bed* di atas tanah liat lembut.
- iii) Menilai tahap (*rating*) integriti struktur *RoBI Test Bed* bagi mengenalpasti keselamatan struktur ini di atas tanah liat lembut.
- iv) Menghubungkait beberapa parameter seperti mendapan, taburan hujan, aras air permukaan dan ciri-ciri tanah terhadap tahap integriti struktur *RoBI Test Bed* di atas tanah liat lembut.

#### 1.5 Skop Kajian

Kajian ini dijalankan di tapak RECESS Malaysia, UTHM. Kajian ini memfokus kepada matlamat projek iaitu menentukan integriti struktur *RoBI Test Bed* yang dibina bagi menjalankan ujian terhadap sebarang rekabentuk jambatan samada baru atau inovasi

pada masa hadapan. Struktur RoBI dibina dengan saiz (4.7m x 3.5m x 4.5m). Terdapat 3 jenis ujian integriti yang dijalankan iaitu (i) Integriti struktur (pemeriksaan visual, kekerasan permukaan RoBI dan mendapan struktur), (ii) Kelakuan tanah liat (ciri asas tanah, keadaan sub-permukaan tanah dan pengukuhan tanah) dan (iii) Ciri keadaan persekitaran (aras air permukaan, taburan hujan dan suhu persekitaran). Tempoh ujikaji adalah selama tiga belas (13) bulan. Tempoh ini hanya melibatkan beberapa parameter iaitu mendapan struktur, pengukuhan tanah, aras air permukaan, taburan hujan dan suhu. Manakala bagi lain-lain ujian seperti pemeriksaan visual dan ujian kekerasan permukaan hanya dijalankan pada tempoh awal pemantauan. Ini adalah memadai bagi mencapai objektif yang telah dinyatakan dalam seksyen 1.4 sebelum ini. Semua proses pemantauan dan data-data yang dikumpulkan adalah selepas pembinaan struktur RoBI ini selesai oleh kumpulan penyelidik yang terdahulu. Dalam kajian ini, beberapa faktor yang dipertimbangkan dalam pemantauan struktur RoBI ini iaitu:

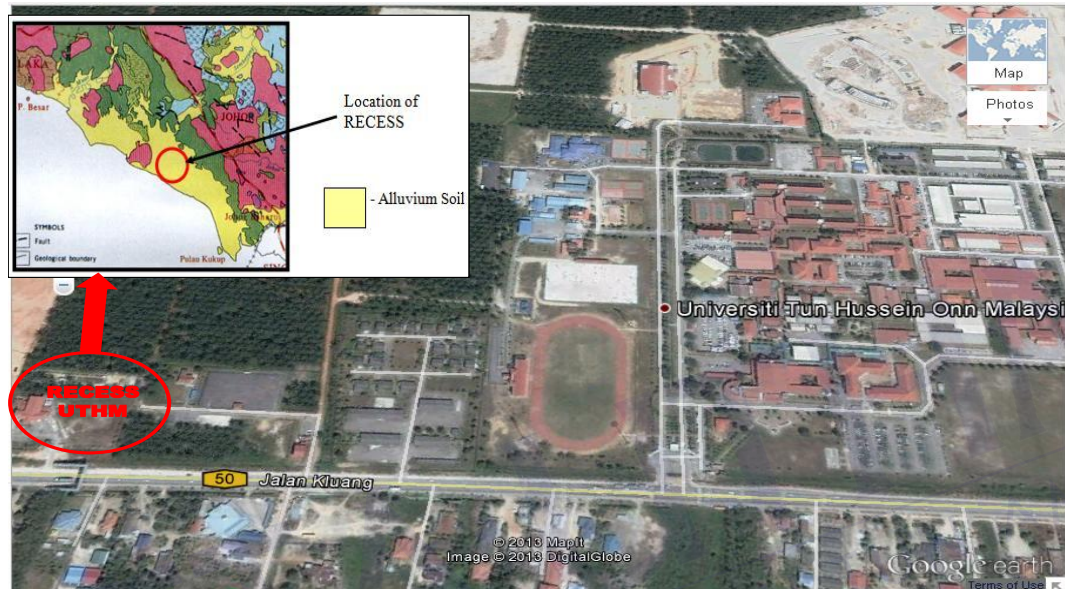
- (a) Menganggap ciri asas tanah liat yang diuji di makmal adalah sama dengan ciri asas tanah liat di tapak RECESS.
- (b) Kesan pembinaan struktur RoBI tidak mengganggu keadaan aras air permukaan (0.5m – 0.65m) di kawasan berhampiran pembinaan struktur ini.
- (c) Cuaca adalah baik sepanjang tahun dan tidak mempengaruhi kerja cerapan data di tapak struktur RoBI.

## 1.6 Kawasan Kajian

Kajian ini dilakukan di tapak Pusat Kajian Tanah Lempu (RECESS) Malaysia, UTHM. Pusat Penyelidikan Tanah Lempu (RECESS) Malaysia ini terletak di dalam kawasan kampus Universiti Tun Hussein Onn Malaysia (UTHM) di Parit Raja, Batu Pahat, Johor, Malaysia. Tanah di lokasi kajian ini merupakan tanah lempu yang terletak 20 km daripada pusat bandar Batu Pahat ke arah Ayer Hitam. Secara relatifnya, topografi bagi kawasan kajian adalah mendatar dengan ketinggian permukaan asalnya adalah lebih kurang 1.35 m hingga 1.80 m dari atas permukaan laut. Manakala bagi paras air bumi bagi kawasan ini adalah pelbagai bermula dari 0.5 m hingga 0.63 m daripada permukaan



tanah. Justeru, di tapak RECESS ini *RoBI Test Bed* dibina bagi pengujian sebarang rekabentuk jambatan kelak. Bagaimanapun skop kajian ini hanya memfokuskan aspek integriti struktur *RoBI Test Bed* sahaja. Rajah 1.3 menunjukkan lokasi tapak RECESS Malaysia, UTHM.



Rajah 1.3: Lokasi tapak RECESS Malaysia di UTHM.

### 1.7 Hipotesis Kajian

Berdasarkan pemerhatian di tapak, beberapa hipotesis telah didapati iaitu:

- Struktur Ujian RoBI (*RoBI Test Bed*) akan mengalami proses pemendapan bergantung kepada masa kerana proses pengukuhan tanah amat mempengaruhi struktur yang dibina di atasnya.
- Faktor persekitaran mempengaruhi kelakuan dan tempoh masa proses pengukuhan tanah serta integriti struktur RoBI.
- Integriti struktur dipengaruhi oleh proses pengukuhan tanah, kelembapan tanah, suhu dan lain-lain faktor (Beban: berat sendiri struktur RoBI (19,920 kg) dan berat air (21,875 kg)).

## 1.8 Definisi Istilah

Dalam tesis ini, beberapa istilah yang kerap digunakan dalam menerangkan beberapa perkara yang berkaitan. Antara istilah-istilah tersebut adalah:

(i) *RoBI Test Bed – Road Bridge Interface Test Bed*

Struktur RoBI ialah satu struktur binaan asas bagi ujian berkaitan jambatan. Ia berbentuk segiempat tepat dengan saiz 4.7m x 3.5m x 4.5m. Struktur ini mempunyai satu lantai dan 3 bahagian dinding yang bertindak sebagai sokongan dinding penahan. Rekabentuk pada struktur RoBI ini adalah nisbah skala 1:2 berdasarkan saiz sebenar struktur asas jambatan di beberapa lokasi sekitar Batu Pahat. Rekabentuk struktur *RoBI Test Bed* ini berdasarkan piawaian BS 8110:1997. Struktur ini kelak bertindak sebagai tapak ujian bagi menjalankan sebarang ujian yang berkaitan dengan sebarang inovasi terhadap rekabentuk jambatan baru.

(ii) *BPSC-Batu Pahat Soft Clay*

BPSC atau tanah liat lembut Batu Pahat merupakan tanah lembut yang meliputi sebahagian kawasan di daerah Batu Pahat ini. Menurut Masirin (2006), tanah jenis ini mempunyai ciri-ciri seperti kandungan kelembapan antara 23% hingga 69%, graviti tentu antara 2.18 hingga 2.65, had plastik antara 20% hingga 35%, had cecair antara 37% hingga 66%, indeks plastik antara 17% hingga 31% dan sensitiviti tanah antara 2.5 hingga 7.3 ( $m^2/tahun$ ). Saiz partikel tanah ini pula adalah kurang daripada 0.002mm.

## 1.9 Organisasi Tesis

Tesis kajian ini dibahagikan dalam lima (5) bab. Garis susunan tesis ini diringkaskan seperti berikut:

**BAB 1** menerangkan latar belakang kajian, penyataan masalah, matlamat dan objektif kajian, skop kajian, kawasan kajian, hipotesis kajian, metodologi kajian, jadual aktiviti

kajian, senarai definisi istilah dan organisasi tesis yang terkandung dalam penyelidikan ini.

**BAB 2** mengupas kajian literatur berkenaan tanah lembut dan jambatan dengan mendalam. Di awal seksyen 2.2 hingga seksyen 2.5, membincangkan mengenai jenis-jenis struktur binaan dan faktor-faktor yang mempengaruhi integriti struktur binaan dengan mengfokuskan faktor tanah lembut sebagai penyumbang kepada mendapan pada struktur binaan. Hubungkait antara tindakbalas pengukuhan tanah terhadap mendapan struktur (*soil-structure interaction*) dan kaedah penstabilan tanah lembut secara mekanikal serta kimia turut dibincangkan. Di seksyen 2.6 hingga seksyen 2.8, menerangkan tentang kaedah pemeriksaan dan penyelenggaraan struktur binaan. Piawaian, jenis dan kaedah yang biasa dipraktikkan dibincangkan dengan lebih mendalam. Di samping itu penilaian ‘tahap’ integriti bagi struktur binaan juga dibincangkan bagi mengklasifikasi dan menentukan kaedah penyelenggaraan yang bersesuaian. Penjelasan berkenaan beberapa jenis ujian integriti terhadap struktur binaan dari segi kekuatan dan kebolehkerjaan turut dibincangkan. Ini melibatkan beberapa ujian tanpa musnah dan ujian termusnah terhadap struktur binaan. Di seksyen 2.9, beberapa contoh kajian terdahulu berkaitan kelakuan dan kegagalan disebabkan oleh rekabentuk jambatan, jenis tanah, beban trafik dan seumpamanya dibincangkan. Pemerhatian terhadap kegagalan sebenar di tapak pada persekitaran tanah lembut dibincangkan dengan lebih terperinci.

**BAB 3** menjelaskan berkenaan metodologi kajian dan instrumentasi yang digunakan di makmal dan di tapak dalam kajian terhadap integriti struktur *RoBI Test Bed* ini. Beberapa ujian di makmal dijalankan bagi menghubungkan dengan ujian yang bersesuaian yang dijalankan ke atas struktur *RoBI Test Bed*. Justifikasi bagi setiap ujian dan instrumentasi di tapak diterangkan dengan terperinci. Beberapa langkah berjaga-jaga bagi semasa proses pengendalian alatan di tapak, penentuan batu aras sementara (*temporary bench mark*) bagi cerapan ukur aras, kaedah cerapan data berkala dan pemerhatian sebelum, semasa dan selepas pembinaan struktur *RoBI Test Bed* turut



## RUJUKAN

- AASHTO (2000). "Manual Condition for Evaluation of Bridges". Edisi Kedua. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C, USA.
- AASHTO (2004). "Standard Recommended Practice For Application of Ground Penetrating Radar (GPR) to Highways.". American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C, USA.
- Abdullah, A.M.L.B dan Chandra, S (1987). "Engineering properties of coastal subsoils in Peninsular Malaysia." Proceeding of the Ninth South East Asian Geotechnical Conference, pp.5.127-5.138, Bangkok.
- Ahvarma (2003). "Types of Structures and Loads: Chapter 1". Dicapai November 2012, dari m/s 8-9 di [www.engineering.purdue.edu](http://www.engineering.purdue.edu). Amerika Syarikat.
- Anmet, T (2003). "Condition Assesment Techniques Uses for Non-Building Structures- Emphasis on Measurement Techniques". Journal of Seismic Assessment & Rehabilitation of Existing Buildings (mukasurat 193-194). Kluwer Academic Publishers, Netherlands.
- Azeez, A.A.D, Zubairu, A.K dan Ahmed, U.A (2012) "Assessing the Structural Integrity and Evaluation of Existing Building Structures". Proceeding of 4<sup>th</sup> West Africa Built Environment Research (WABER) Conference. Pp 24-26. Abuja, Nigeria.
- Baisch, J (2011). "Responsibility of Life Source Water." Dicapai pada November 2011 di <http://www.water-for-africa.org>
- Baldev, R, T. Jayakumar dan Rao, B.P (1995). "Non-Destructive Testing and Evaluation For Structural Integrity". Proceeding of Sadhana Vol 20 Part 1: pp 5-38. India.
- Balasubramaniam, A.S dan Brenner, R.P (1985). "Consolidation and Settlement of Soft Clay". Diubahsuai oleh Brand, E.W. dan Brenner, R.P. Elsevier. Amsterdam.
- Brand, E.W. dan Brenner, R.P. (1981). "Soft Clay Engineering." Elsevier Scientific Publishing Company. Amsterdam, 1981.
- Brian, K.B, Robert, V, Wang, X dan Wackerof, J (2006). "Static Load and Vibration Performance of Six Timber Bridges Constructed Using Local Species in Northern Michigan". Michigan Technological University. Amerika Syarikat.
- British Standards Institution (1990). "Standard Methods of Test or Soils for Civil Engineering Purposes". BS 1377: 1990. London.

- British Standards Institution (1990). "*Methods of test for soils for civil engineering purposes : General requirements and sample preparation*". BS 1377:1990. London.
- British Standards Institution (1997). "*Structural Use of Concrete*". Code of Practice for Design and Construction. BS 1881 Part 1. London.
- British Standards Institution (1986). "*Testing concrete-Recommendations for surface hardness testing by rebound hammer*". BS 1881 Part 202. London.
- British Standards Institution (1986). "*Testing concrete-recommendations on measurement of the velocity of ultrasonic pulses in concrete*". BS 1881 Part 203 London.
- British Standards Institution (1986). "*Code of Practice for Site Investigations*". BS 5930: 1981. London.
- Building and Construction Authority (2012). "Periodic Structural Inspection of Existing Buildings- Guidelines for Structural Engineers".
- Bujang, B.K.H., Jusoh, A., Maail, S. (1991). "Pengenalan Mekanik Tanah." Dewan Bahasa dan Pustaka, Kementerian Pendidikan Malaysia. Kuala Lumpur.
- Bujang, B.K.H (2003). "Behaviour of Soft Clay Foundation Beneath An Embankment". ISSN: 0128-7680. University of Putra Malaysia.
- Bujang, B.K.H. dan Faizal, A. (2007). "Ground Improvement Technique." Universiti Putra Malaysia Press. Selangor.
- Brandl, H (2001). "The Importance of Optimum Compaction of Soil and Other Granular Material". International Workshop Paris.
- Cai, I., Osama, A., Ikhlas, A.Q., Upul, A., Joseph, B. dan Eyad, A. (2012). "Bridge Deck Load Testing Using Sensors and Optical Survey Equipment". Artikel Penyelidikan. Hindawi Publishing Corporation Advances in Civil Engineering.
- Cernica, J.N (1995). "Geotechnical Engineering: Soils Mechanics." New York: John Wiley and Sons.
- Chai, K.N (1996). "Reliability of Integrating Non-Destructive Result of Concrete Structures".
- Chen, D. H. & Scullion, T (2008). "Detecting subsurface voids using ground-coupled penetrating radar". Geotechnical Testing Journal, Volume 31, Issue 3.

- Council of American Structural Engineers of Minnesota, (2003). "Guideline Program For Structural Testing and Special Inspection". CASE/MN. Edisi ke-4.
- Craig,R.F (1993). "Mekanik Tanah." Terjemahan Soil Mechanics oleh Aminaton Marto, Fatimah Mohd Noor, dan Fauziah Kasim Edisi ke-4. Unit Penerbitan Akademik Universiti Teknologi Malaysia
- Kamus sains (2012). Daftar istilah: Dewan Bahasa dan Pustaka. Dicapai pada 12 Mei 2013 di <http://prpm.dbp.gov.my>
- Demetrios.E, Tonnias,P.E, Jim,J, Zhao,P.E (2007). 'Bridge Engineering: Design, Rehabilitation and Maintenance of Modern Highway Bridges'. Edisi kedua. Mc. Graw Hill.
- Duff, Mark (2008). "Europe : Pisa's leaning tower 'stabilized". BBC News. Retrieved May 5, 2009.
- Flodin, N dan Broms, B. (1981). "Historical Development of Civil Engineering in soft Clays," Elsevier Scientific Publishing Company.
- Geomodel Inc. (2008). "Ground Penetrating Radar: Basic Operating Principles." Leesburg (USA): Trade Brochure.
- Gongkang,F (2005). "Inspection and Monitoring Techniques for Bridges and Civil Structures". Woodhead Publishing in Materials.
- Gue, S. S., Tan, Y. C., and Liew, S. S. (2002). "Cost Effective Geotechnical Solutions for Roads and Factories Over Soft Ground." 20<sup>th</sup> Conference of the ASEAN Federation of Engineering Organization, 2002.
- Gue, T., Sew,S.,Yun,S.,Wong,Y.C.,(2008).Geotechnical Engineering: "Challenges for Highway Design and Construction Soft Soil.": Proceeding paper.
- Harold, N.Atkins (2003). " Highway Materials, Soils and Concretes". Prentice Hall.
- Holland R, Montgomery B.E, Smith and Moore J F.A (1992) *Appraisal and Repair of Building Structure*, London: Thomas Telford.
- Jabatan Kerja Raya (1995). Annual Bridge Inspection Manual. Februari 2005.
- Jabatan Kerja Raya (2011). Pengenalan Struktur, Rekabentuk dan Komponen Bangunan, Dicapai pada November 2012, dari [www.jkr.terengganu.gov.my](http://www.jkr.terengganu.gov.my)
- Jabatan Meteorologi Malaysia (2012). Tolok Hujan (*Tipping Bucket*), Dicapai November 2012, dari [www.met.gov.my](http://www.met.gov.my)

- Jack,S.F.F (2000).“Structure and Fabric: Part 1”. Edisi ke-enam. Mitchell’s Building Series.Longman.
- Kramer,S.L. dan Sajer,P (1991).“Bridge Approach Slab Effectiveness”. Washington State Department of Transportation. Report No. WA-RD 227.1. ms 223. Olympia.Washington.
- Larosche, C.J (2009) “Failure, Distress and Repair of Concrete Structures”. Ubahsuai oleh Norbert Delatte. Janney Elstner Associates Inc. Amerika Syarikat.
- Lembaga Lebuhraya Malaysia (1989).“ Proceeding of the International Symposium. On Trial Embankments on Malaysian Marine Clays”. Kuala Lumpur. Vol.1.
- Lerouril,S.,Magnan,J dan Tavenas,F (1990).“Embankment on Soft Clays.” Ellis Horwood Limited.
- Lian, Y dan Yen,B.C (2003) . "Comparison of risk calculation methods for a culvert." *Journal of Hydraulic Engineering*, vol. 129, no. 2, pp. 140-152.
- Liu,C dan Evett,B.J (1998).“Soils and Foundations”.4<sup>th</sup> Edition. Prentice Hall.
- Looi.C.S (2009). “Field Assessment of Road-Bridge Interface Constructed At KM24 Jln.Bt. Pahat –Kluang”. Laporan Projek Sarjana Muda.UTHM.
- Manas Yusof (2006).“Kajian Kecacatan Keatas Bangunan Semasa Tempoh Tanggungan Kecacatan”. Kajian Kes.Universiti Teknologi Malaysia.
- Marshall,W.T dan Nelson,H.M (1990). “Struktur”.Terjemahan oleh Asiah Salleh. Dewan Bahasa Pustaka.
- Marto.A (1997). “ Full Scale Test of Trial Road Embankment on Bamboo Geotextile Composite Reinforced Soft Clay”. E-Science Fund.
- Masiri.K dan Abd Shukor.S (2006). “ Kejuruteraan Geomatik 1”.Panel Kejuruteraan Geomatik, Universiti Tun Hussein Onn Malaysia.
- Masirin, M.M.I (2006). “Performance Evaluation of Encapsulated Road Pavement on Difficult Ground Condition” Thesis submitted to the University of East London in Partial Fulfillment of the requirements for the Award of Doctor of Philosophy Degree. London.
- Masirin,M.M.I., Adnan, Z., Ahmad, K. A. A. R dan Azman, H (2005). “Defect of Rural Road Constructed On Soft Soils In Batu Pahat District Johor Malaysia.” 2<sup>nd</sup> International Seminar on Geotechnical Transportation Engineering.Diponegoro University. Indonesia.

- Masirin, MIM; Rasimah,Z., Fizal,M.A.B, Daud, M (2009). "Site investigation on Road-Bridge Interface problems due to differential settlements at Jalan Nansang Teku and Jalan Sungai Maaw, Sibu Sarawak." Pembentangan di UTHM RMC , Disember 2009 (Laporan Kajian)
- Masirin,MIM, Adnan, Z, Anati,A.H, Rasimah,Z, Rufaizal.C.M,Wijeyekera.D.C (2010). "Review of Construction Challenges on Sibu Peat: Case Study and Lessons Learned". Proceeding of Geotropika Conference 2010.Kota Kinabalu,Sabah.Malaysia.
- Masirin,MIM, I,Bakar, Norazah,A.R, Firdaus,A.Z, Anati,H, Rasimah,Z (2010). "Development of IRB Test-Bed at Research Center for Soft Soil Malaysia (RECESS Malaysia): From Concept to Testing." Proceeding of Geotropika Conference 2010. Kota Kinabalu, Sabah.Malaysia.
- McCarthy, Donald.F. (2002). "Essentials of Soil Mechanics and Foundations". pg. 499, 543, Prentice Hall, New Jersey.
- Mohiuddin,A.K (2010)."Bridge and Highway Structure Rehabilitation and Repair." The McGraw-Hill.New York.
- Muzamir bin Hasan (2005). "Penyiasatan Tanah, Pensampelan,dan Kekuatan Ricih Tanah Liat Lembut." Universiti Teknologi Malaysia: Ijazah sarjana Muda.
- National Bridge Inspection Standards (2009). "National Bridge Inspection Standards Regulation". NBIS. Federal Highway Administration dicapai pada November 2012 di <http://www.fhwa.dot.gov>.
- Olufemi Oyedele (2010)."Managing Construction Defects". Glasgow Caledonian University.
- Open Channel Flow (2013)."Staff-Level Gauges for Water Level Measurement". Dicapai pada Januari 2013 di <http://www.openchannelflow.com>
- Petersen,C.G (1997). "LOK-Test and CAPO Test Pullout Testing". British Institute of Non-destructive Testing. United Kingdom.
- Robert.C, Stephen.A.D, Eric.P. (2012). "Development of Specifications For A Crack Resistant Bridge Deck Concrete". Transportation Research Board Annual Meeting (TRB) 2012. United States of America.
- Sci, (2005) : Science history: setting the record straight". Retrieved June 30, 2005. Dicapai di [www.hindu.com](http://www.hindu.com).

- Siti Aimi, M.Y (2011). "Influence of Different Preconsolidation Stress On The Consolidation Behaviour of Soft Marine Clay". Laporan Projek Sarjana Muda.UTHM.
- Suretest Instrument Sdn.Bhd (2007). "Report on Soil Investigation for University Tun Hussein Onn Malaysia (UTHM)". Disediakan untuk Pembinaan Hamid Abdul Rahman.
- Schroeder, W.L, Dickenson, S.E dan Warrington, D.C (2004). "Soils in Construction". Edisi ke-5. Prentice Hall.
- Seo, J (2003). "The Bump at the End of the Bridge: An Investigation". Dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of the Doctor of Philosophy, Texas, A&M University, College Station, Texas.
- Sin, P.T (2003). "Economical solution for roadway embankment construction on soft compressible soil at Putrajaya, Selangor." Proceedings of 2<sup>nd</sup> International Conference on Advances in Soil Engineering and Technology. pp.649-65. Putrajaya, Malaysia.
- Terzaghi, K., Peck, R.B dan Mesri, G (1996). "Soil Mechanics in Engineering Practice". Edisi ke-3. John Wiley and Sons, New York.
- Tuladar, R, Maki, T, Mutsuyoshi, H (2008). "Cyclic Behaviour of Laterally Loaded Concrete Piles Embedded into Cohesive Soil". Earthquake Engineering & Structural Dynamics. Vol 37 (1), pp 43-59.
- TxDOT (2000). "Texas Department of Transportation Manual System-Bridge Design Manual. "Texas Department of Transportation, Austin, Texas. Retrieved June 15, 2002, dicapai dari: <http://manuals.dot.state.tx.us/dynaweb/colbridges/@GenericBookView>.
- Ufuk Dilek, P.E (2005). "Evaluation of Fire Damage To A Precast Concrete Structure Non Destructive, Laboratory and Load Testing". Journal of Performance of Constructed Facilities, mukasurat 42-48. ASCE.
- Van, M dan Jack, J.R (2005). "All About Psychological Tests". Belanda.
- Wang, J.H, Xu, Z.H dan Wang, W.D (2010). "Wall and Ground Movements due to deep Excavations in Shanghai Soft Soils". Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering.
- White, D., Mohamed, M., Sritharan, S., dan Suleiman, M (2007). "Underlying Causes for Settlement of Bridge Approach Pavement Systems." Journal of Performance of Constructed Facilities. ASCE, 273-282.



Whitlow,R (2001).“Basic Soil Mechanics”. Edisi ke-4. Prectice Hall.

Zhang,L (2004).“Reliability Verification Using Proof Pile Load Tests”. Journal of Geotechnical & Environmental Engineering.ASCE.

